

*Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.*

УДК 621.373.826+504.064.37

С.В. Половченко, В.В. Роговский, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин

*Новороссийский политехнический институт (филиал)
ФГБОУ ВПО Кубанский государственный технологический университет,
Россия, 353900, Новороссийск, ул. Карла Маркса, 21,
E-mail: yshemanin@mail.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ С ЗАДАНЫМИ СПЕКТРАМИ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ

АННОТАЦИЯ

Предложено на основе замкнутого газотока с побудителем потока создавать воздушные потоки с широкими спектрами размеров частиц. Это достигается путем импульсной инжекции исследуемого порошка в поток и последующего релаксационного спада концентрации аэрозольных частиц. Спад концентрации сопровождается монотонным смещением спектра размеров частиц в область малых размеров. Выполнены серии измерений параметров аэродисперсных потоков гравиметрическим методом и интегральными методами лазерного зондирования (интегрального светорассеяния и спектральной прозрачности) и оценены погрешности этих измерений. Таким образом, показано, что импульсная инжекция аэрозоля в воздушный поток и последующий спад концентрации и изменение дисперсности можно использовать для получения модельных аэродисперсных потоков.

ПОТОК, МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗМЕРЫ ЧАСТИЦ, АЭРОЗОЛЬ, ЛАЗЕРЫ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большее применение находят лидары для контроля концентрации и распределения аэрозольных частиц по размерам в атмосфере. При этом точность решения обратных задач лазерного зондирования напрямую зависит от априорных знаний влияния концентрации и дисперсности аэрозоля. Особую важность представляет контроль аэрозолей над территориями предприятий (источниками выбросов аэрозолей). В таких ситуациях заранее известен характер доминирующего аэрозоля. Однако неизвестно какое распределение частиц по размерам следует ожидать. Поэтому необходимо оценить возможные спектры размеров частиц, которые могут образовываться в промышленных потоках и решить задачу экспериментального моделирования таких аэродисперсных потоков, спектры размеров частиц которых были достаточно близки спектрам размеров частиц в реальных промышленных условиях. Это даст возможность проводить метрологические исследования модельных потоков и использовать полученные результаты для повышения точности решения обратных задач лазерного зондирования промышленных аэрозолей.

Метод математического моделирования на ЭВМ является одним из основных средств исследования свойств аэрозолей. В первую очередь потому, что на эксперименте очень трудно в деталях проследить за ходом процесса трансформации потока. Возможности же аналитического описания такого процесса весьма ограничены. Используя возможности, которые предоставляют современные ЭВМ, на основе разработанного алгоритма были проанализированы 120 экспериментальных массовых функций распределения частиц по размерам готового продукта, которые трансформируются в результате их аэродинамической классификации. Ранее авторами были определены фракционные эффективности пылеулавливающих установок [1], что позволило восстановить массовые функции распределения на входе и выходе каждого классификатора, а также преобразовать их к счетным функциям, определить статистические оценки распределений (медианные диаметры, средний объемно-поверхностный диаметр, доли частиц определенных фракций ит.п.).

Моделирование происходит по следующей схеме:

1) имея в распоряжении массовую (весовую) функцию распределения аэрозольных частиц по размерам (в дальнейшем будем обозначать МФР) готового продукта (цемент) $g(\delta)$ и, используя фракционную эффективность первого классификатора $\eta_1(\delta)$, получили МФР на выходе первого классификатора (циклон)

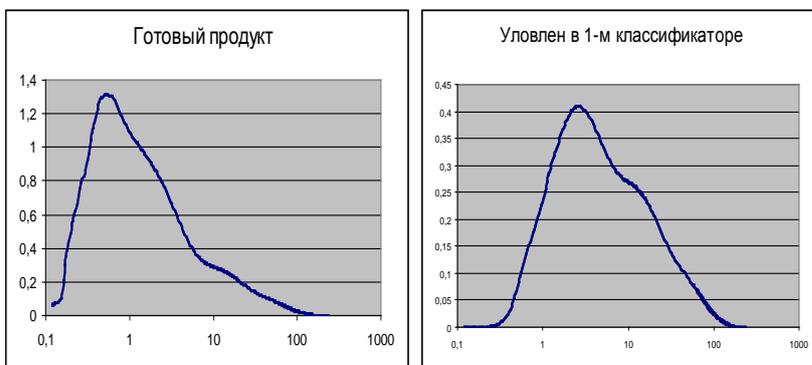
$$g_2(\delta) = \frac{g(\delta)(1 - \eta_1(\delta))}{\int_0^{\infty} g(\delta)(1 - \eta_1(\delta))d\delta}, \quad (1)$$

где δ – диаметр частицы;

2) МФР уловленного в первом классификаторе аэрозоля определяем как разность входящего и выходящего

$$g_1(\delta) = \frac{g(\delta) - g_2(\delta)}{\int_0^{\infty} (g(\delta) - g_2(\delta))d\delta}, \quad (2)$$

3) по формулам (1) и (2) аналогично определяем МФР на входе, выходе и уловленного на каждой ступени пылеулавливания.



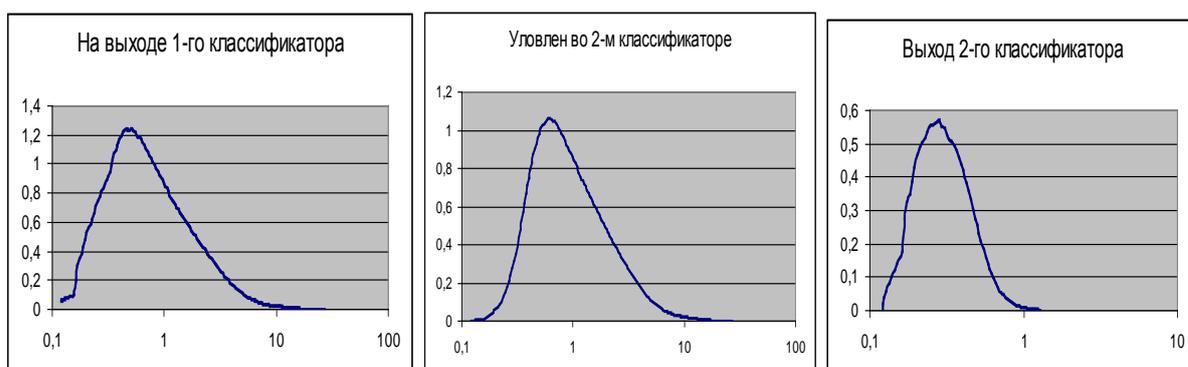


Рис.1. Результаты моделирования трансформации на основе фракционных эффективностей

Наряду с массовой функцией распределения были определены счетные функции распределения аэрозольных частиц по размерам (СФР).

Таким образом, на основе значений полученных в лаборатории завода на аттестованном измерителе размеров аэрозольных частиц и в результате проведенного моделирования авторы получили базу функций распределения размеров частиц на всех стадиях технологического процесса.

Для обеспечения высокой точности измерительных задач необходимо проведение метрологических исследований объекта измерения. Такие исследования аэродисперсных потоков в промышленных условиях практически невозможны или чрезвычайно затруднены. В настоящей работе предлагается на основе специального пылевого стенда (ссылка) получить модельные аэродисперсные потоки. В более ранних работах авторов была проанализирована зависимость концентрации аэрозольных частиц в стенде от времени, скорости, диаметра частиц.

$$C = C_0 e^{-ad^2t(bv^2+c)/\mu}, \quad (3)$$

где a , b , c – константы, зависящие от плотности частиц, геометрических размеров стенда.

Перед авторами стояла задача: определить в какой момент времени моделируемый поток в стенде будет иметь хорошее согласование с теоретическими расчетами. В результате эксперимента движение потока наблюдалось в течение 3600 секунд. Постепенно более крупные частицы оседали и происходила трансформация потока. Затем проследили посекундную согласованность теоретических графиков распределения частиц по размерам с полученными в результате эксперимента модельными. В качестве меры адекватности был использован коэффициент детерминации:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i^T)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^T - \bar{y})^2} \quad (4)$$

В результате было получено следующее:

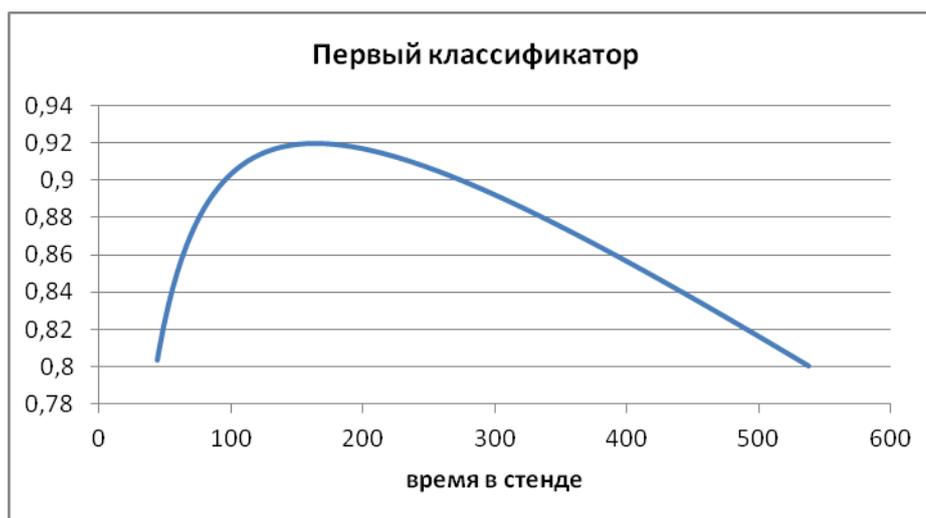


Рис. 2. Согласование трансформации спектра размеров в стенде со спектром размеров промышленного потока в первом классификаторе

Из рисунка видно, что в промежутке времени от 77 секунды до 538 секунды спектр размеров модельного потока со спектром размеров промышленного после первого классификатора имеет коэффициент детерминации свыше 80%, а в промежутке от 96 секунды до 280 секунды коэффициент детерминации достигает значения более 90% и своего максимального значения, равного 0.92%.

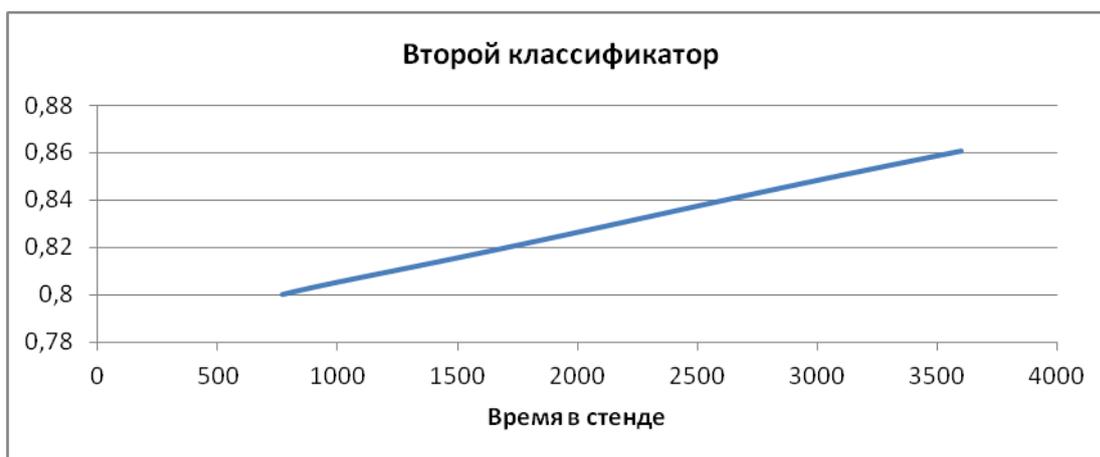


Рис. 3. Согласование трансформации спектра размеров в стенде со спектром размеров промышленного потока во втором классификаторе

В промежутке времени от 771 секунды и до конца серии измерений коэффициент детерминации свыше 80% для второго классификатора. При этом наблюдается тенденция монотонного роста коэффициента детерминации для второго классификатора, что может быть использовано в дальнейших экспериментах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, можно утверждать, что импульсная инжекция аэрозольного материала в замкнутый воздушный поток позволяет получить распределение частиц с монотонно уменьшающимися размерами в зависимости от времени. Релаксация концентрации и спектра размеров частиц позволяет получить промежутки времени в пределах которых распределение модельных потоков максимально близки к соответствующим промышленным потокам. А для второго классификатора наблюдается тенденция монотонного роста

коэффициента детерминации оценивающего степень близости друг другу модельного и индустриального потоков, что в случае необходимости позволит увеличивать время в течении которого можно проводить соответствующие метрологические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чартий П.В., Черетун О.В., Шеманин В.Г.** Повышение точности решения обратной задачи лазерного зондирования аэродисперсных потоков за счет корреляции средних размеров частиц и распределения частиц по размерам в области малых и больших размеров: сборник докладов//19 международная конференция «Лазеры. Измерения. Информация». Санкт-Петербург, июнь, 2009. Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2009. Т.1. С. 287-298
2. **Половченко С.В., Семенычева О.В., Чартий П.В.** Математическое моделирование трансформации спектров размеров частиц в аэродисперсных потоках: сборник научных трудов SWorld// Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2012». Выпуск 4. Том 14. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012 – С.11-22.

S.V. Polovchenko, V.V. Rogovsiy, P.V. Chartiy, V.G. Shemanin

*Kuban State Technological University,
Russia, Novorossiysk, 20 K. Marx Str, E-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru*

MODELING AERODISPERSE FLOWS WITH GIVEN PARTICLE SIZE SPECTRUM

Proposed on the basis of a closed duct to the stimulus stream to create air flow with a wide range of particle sizes. This is achieved by pulsed injection of the test powder flow and subsequent relaxation recession concentration of aerosol particles. Concentration accompanied by a monotonic decline offset range of particle sizes in the range of small sizes. Performed a series of measurements of flow aerodisperse gravimetric method and integral methods of laser sensing (integrated light scattering and spectral transmission) and to estimate the error of these dimensions. Thus, it is shown that the pulse injection of aerosols into the air stream and the subsequent decline in the concentration and dispersion of the change can be used to model flow aerodisperse.

FLOW, SIMULATION, PARTICLE SIZE, SPRAY, LASERS